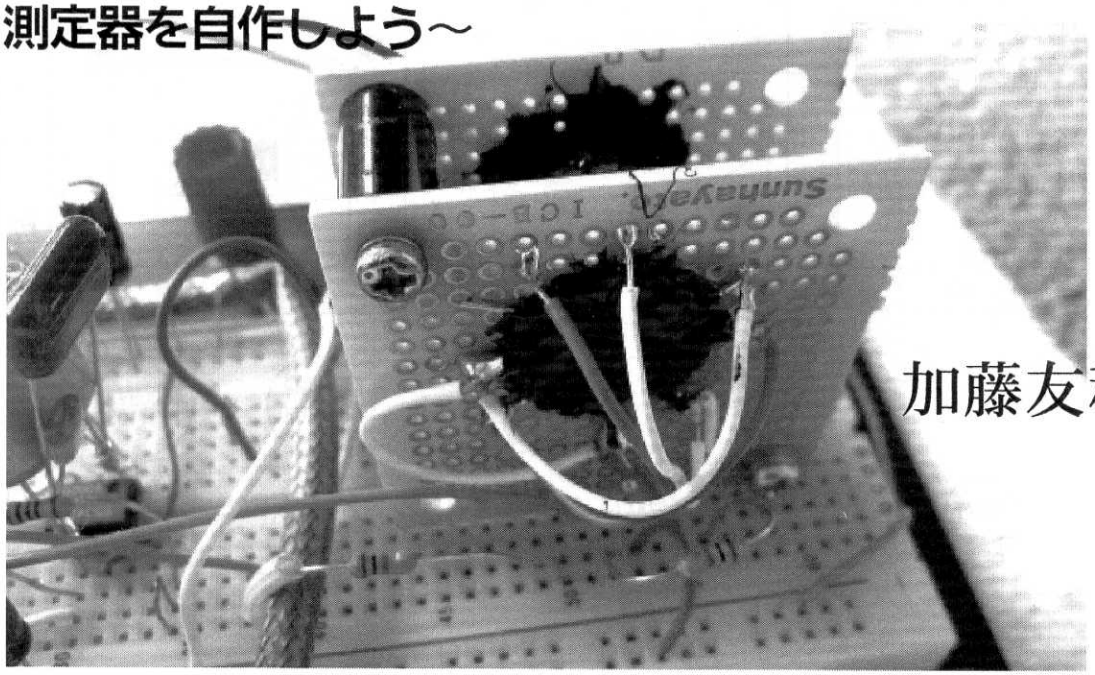
測定器を自作しよう～



低ひずみ率発振器の試作

加藤友和

オーディオ・アンプの製作にのめり込むと，自分の技量がどの程度なのかを確認したいがために自作したアンプのひずみ率を知りたくなるのが自然の成行きでしょう．ひずみ率測定に必要な主な測定器は低ひずみ率発振器とひずみ率計です．低ひずみ率発振器とひずみ率計が一つの筐体に入ったオーディオ・アナライザという測定器もあります．

いずれにしても相当高価で安くありません．中古品を入手する方法もあります．使用頻度はそんなに高くないことから低ひずみ率発振器を自作しようと挑戦した過去があります．ところが，二度挑戦しましたが二度とも失敗してしまいました．1 kHzのひずみ率を0.005%以下まで追込めることはできましたが，再現性が悪く測定値がばらついたためギブアップです．

今年4月（H22.4）に長年勤めた会社を定年退職し，毎日が日曜日状態となったことから，低ひずみ率発振器を再々挑戦することにしました．ある閃きから一般に知られている回路と違った回路構成で試したところ，ある程度の成果が得られたので紹介します．

低ひずみ率発振器ダイヤグラム

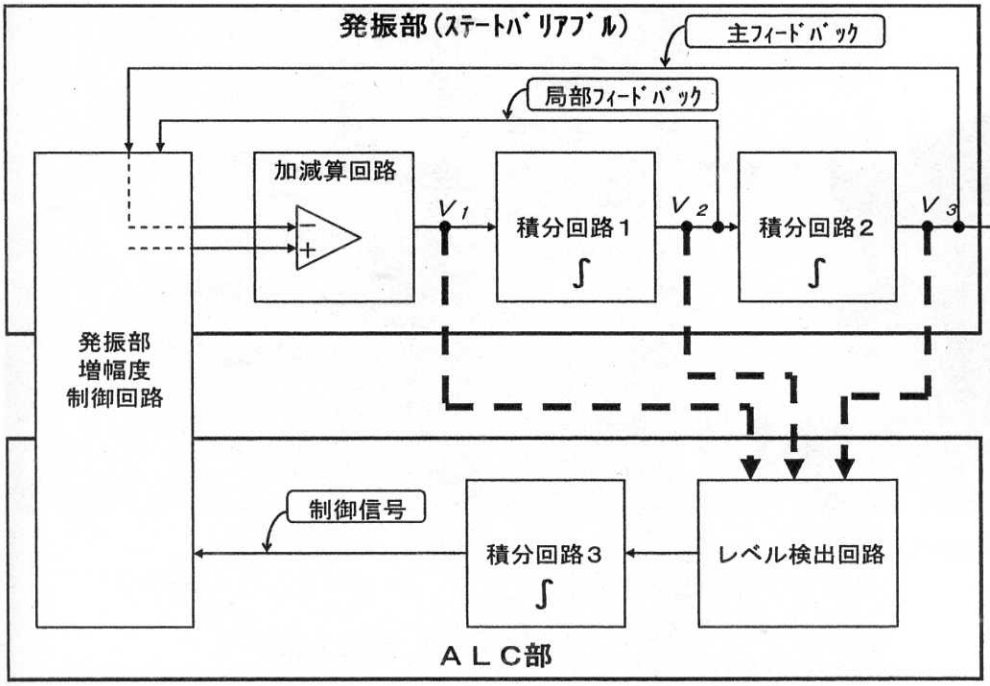
低ひずみ率発振器の内部構成は大きく分けて**第1図**のとおり，発振部とALC部の2つの構成要素から成立ちます．

発振部はステートバリアブル（状態変数型）フィルタを活用した本体部分です．積分回路1と積分回路2を同じ定数にし，安定した発振状態では，V_1，V_2，V_3の絶対値は同じになります．V_1とV_2は90度の位相差があり，V_2とV_3にも90度の位相差があります．V_3とV_1は極性が反転し180度の位相差があります．同じ周波数で90°の位相差出力が得られることから2相発振器の一種です．主フィードバックだけでは発振しなかったり，波形がひずみんでしまったり安定しませんので局部フィードバックを掛けます．局部フィードバックは正帰還（PFB）と負帰還（NFB）の2ルートを設けます．

どちらかの帰還ルートの中にALC部からの制御信号で増幅度制御される素子（回路）を入れ発振部の出力を安定化させます．

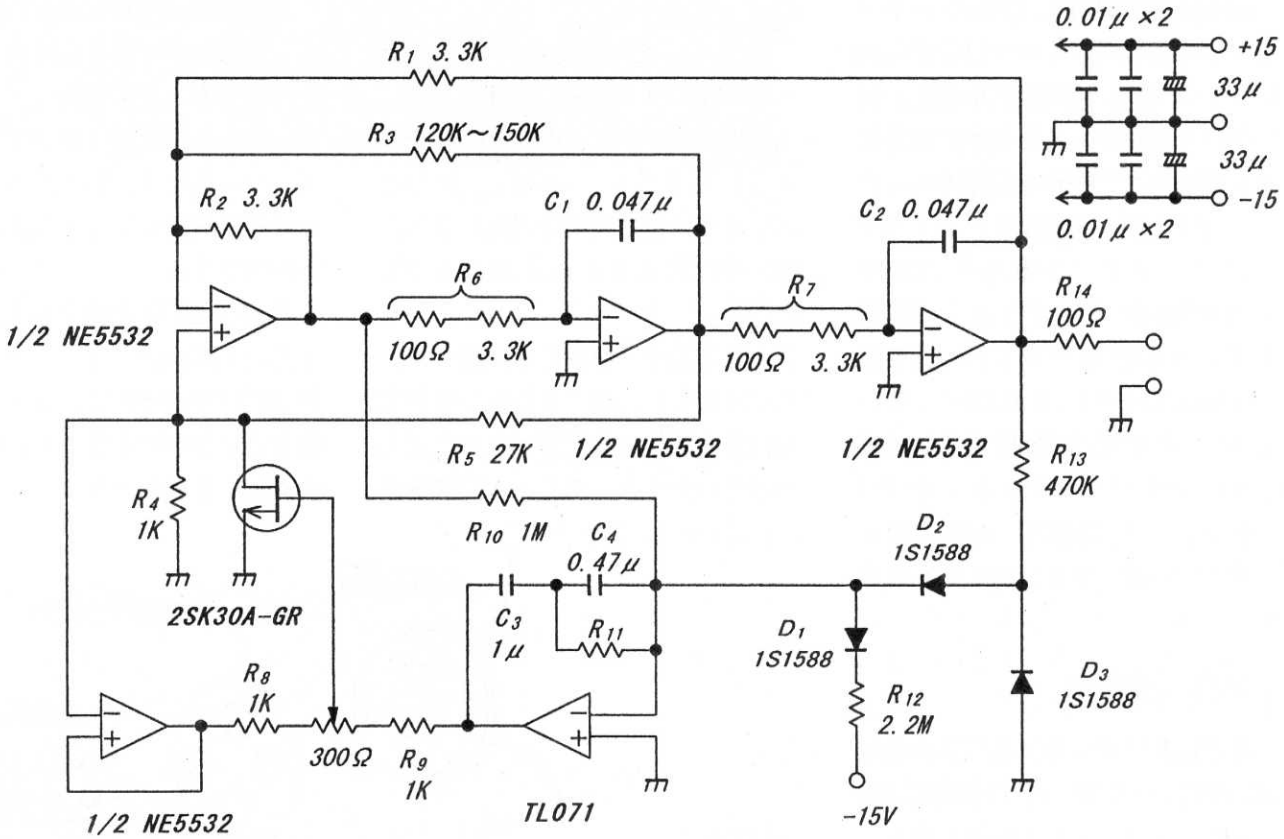
ALC部は，レベル検出回路で出力（電圧）を検波し脈流を得ます．積分回路3でその脈流を積分（平滑）し制御信号を生成します．前述のとおりその制御信号が発振部をコントロールする仕掛けになっています．制御信号にリップル成分が混入すると発振部はその影響を受けひずみ率が悪化（ひずみ率が上昇）します．

そこで，制御信号にリップル成分が混入しない工夫をします．レベル



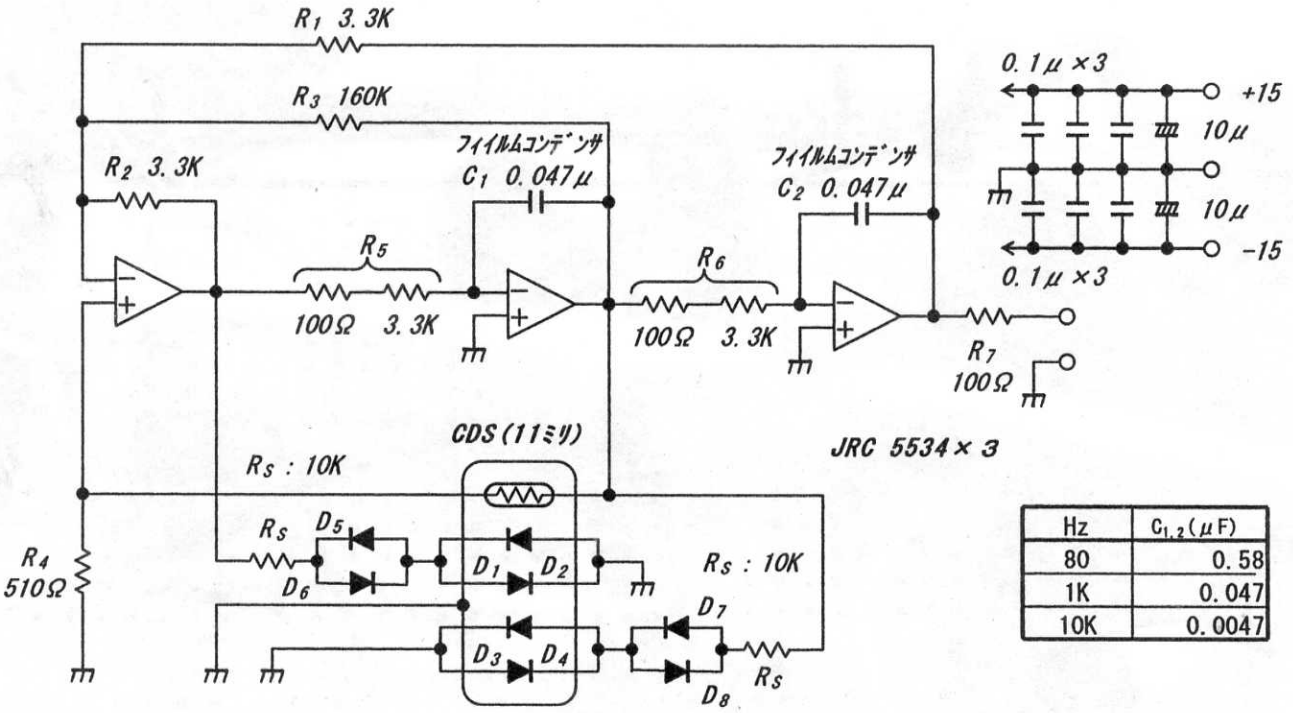
<第1図>
低ひずみ率発振器
ブロックダイヤグラム

<第2図>
低ひずみ率発振器の代表例



検出回路は，単相の場合は半波整流より全波整流にします．また，2相発振である特徴を利用してよりリップル抑圧しやすい2相全波整流にします．2相全波整流にするとリップル成分が発振周波数の4倍になり積分回路で抑圧しやすくなります．積分回路3は時定数を長くすればリップル成分をより抑圧できますが発振器の出力レベルがなかなか安定しないことになります．また，ALCのループゲイン（利得，位相）が適切に設定されていないと振動したりして使い物になりません．

第2図は黒田　徹氏が発表されている低ひずみ率発振器です．詳しくは参考文献を参照してください．詳細な説明がされています．ネットで低ひずみ率発振器とその関連キーワードを検索してみると多くの方がこの回路を参考にしていることが判り



Hz	$C_{1,2}$(μF)
80	0.58
1K	0.047
10K	0.0047

<第6図>
自作フォト・カプラによる低ひずみ率発振器
(その2)

ることができました．ひずみ率はTHD＋Nです．MK-654には帯域制　限Filter（LPF：30kHz，80kHz，HPF：400Hz，etc）およびWeighting Filter（A etc）はありません．すなわち評価フィルタは使用していません（できません）．改良すべき点は周波数別の出力電圧の平坦化と80Hzにおけるひずみ率です．出力電圧の平坦化については2通りの方法が考えられます．

1つはR_S（$33K\Omega$）の値を下げALCループ・ゲインを上げることです．ただし，出力電圧は低下します．そのレベル低下を保障するため高輝度LEDの見掛けの順方向電圧降下を上げてやります．**第6図**のとおりR_Sを$10k\Omega$にし，高輝度LEDに普通のLEDを直列に接続しました．なお，R_Sの値を無闇に下げるとOPAMPにとって重負荷になるためひずみ率が悪化します．

残り1つは周波数が高くなるに従って高輝度LEDに加わる電圧を作為的に下げることです．すると，ALCの働きで出力電圧が上昇します．**第7図**のとおり高輝度LEDに2000PF（スチロール）を並列に接続し周波数が高くなるに従い高輝度LEDに加わる電圧を作為的に低くします．

第6，7図における出力電圧特性は**第1表**の通りでした．出力電圧は平坦化しましたが2000PFでは過補償ぎみです．

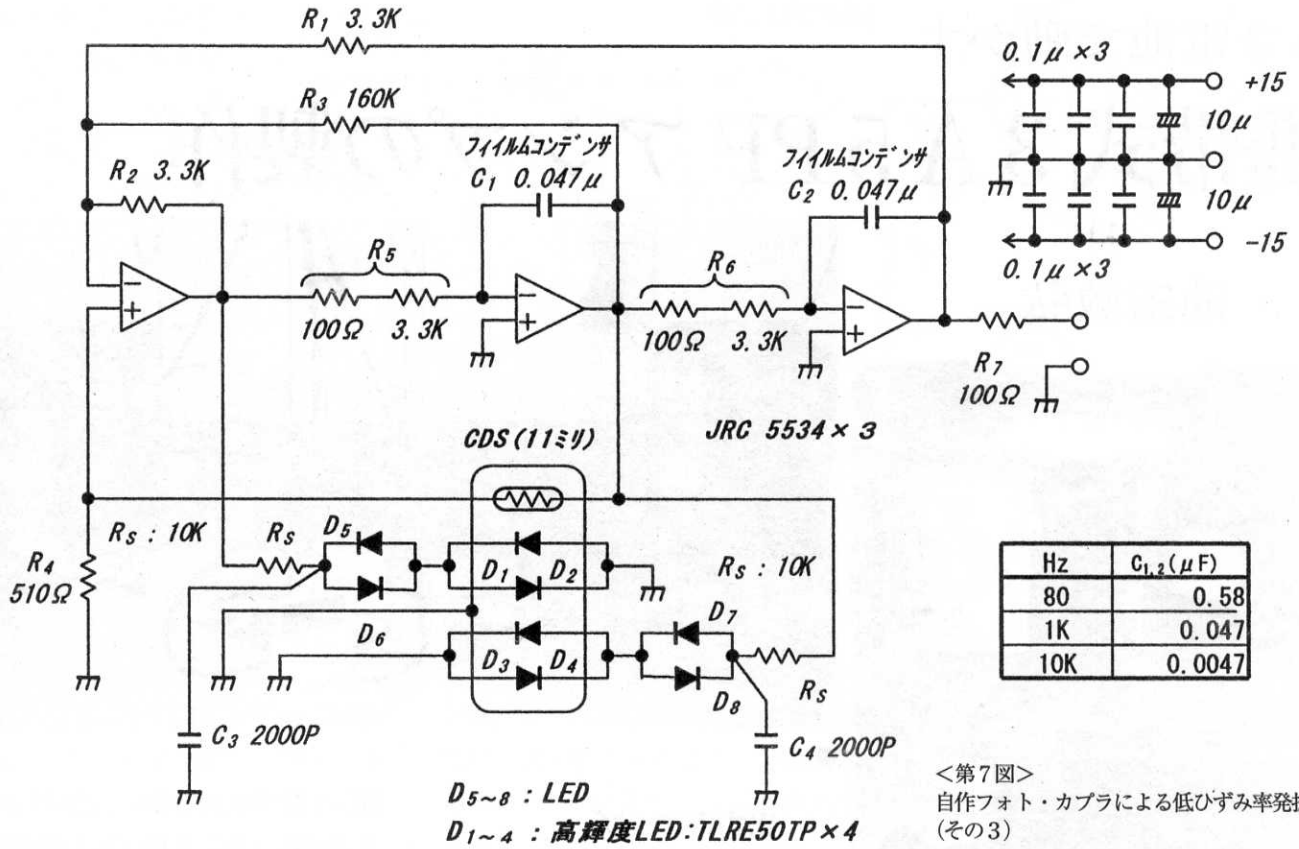
残念ながら80Hzにおけるひずみ率の低下に対する改善アイデアはありません．今後の課題です．

ただし，現状の**第7図**でもよほど低ひずみ率でない真空管アンプの測定には十分な特性を持っています．出力電圧が不足する場合はバッファアンプで不足分を補ってください．ただし，バッファアンプでひずみ率が悪化しないよう注意して下さい．今回の追求は此処までにしておきましょう．毎度試作段階での紹介になって仕舞いました．測定器として体裁を整える方は電源トランスのリーケージフラックス，アースの引回しと引き出し方及び出力の引き出し方に細心の注意を払って下さい．

（注意事項）本件で紹介している全ての回路については異常（過大信号，周波数異常）出力に対する考慮は一切していないと考えて下さい．特に電源投入時（POWER ON），電源切断時（POWER OFF）及び周波数可変時には必ず過度的に異常信号が出力されるものと考えて下さい．実際にアンプ等のひずみ率測定に用いる場合は異常信号が被測定物（アンプ等）に印加されないよう測定手順を十分検討してください．すべて自己責任です．

あとがき

第7図において最初の測定から7日後の再測定でも測定結果はほぼ同じで変動はしていませんでした．再現性に問題はなさそうです．が，月単位，季節単位，年単位で比較して



Hz	$C_{1,2}$(μF)
80	0.58
1K	0.047
10K	0.0047

<第7図>
自作フォト・カプラによる低ひずみ率発振器
(その3)

みると違ってくるかも知れません．温度対出力電圧およびひずみ率を測定すると面白い結果が出るかも知れません．良い結果がでれば信頼性が増します．測定器にとって測定値の再現性と信頼性は重要な要素です．それがすべてだといっても過言ではありません．

400 Hzのひずみ率計を持っている方のために参考に**第7図**で400 Hzのひずみ率を測定してみました．出力電圧は3.2 Vでひずみ率は0.0016 %でした．C_1, C_2は0.12μFです．

フォト・カプラによる発振器出力の安定化は以前にもありました．今回紹介したCDS 1個対高輝度LED 4個構成によるフォト・カプラは見たことありません．個人的には非常に面白い回路だと思っています．光量を均等化するため高輝度LEDを8個とか16個にしたいのですが工作レベルが個人レベルを超えています．メーカーさんのどなたか作ってくれると有難いのですが無理でしょう．

図番	周波数 上段:出力電圧(V)　下段:ひずみ率(%)		
	80Hz	1kHz	10kHz
第5図	3.5 0.0047	3.3 0.0015	2.6 0.0024
第6図	3.3 0.0056	3.2 0.0014	2.9 0.0016
第7図	3.3 0.0051	3.2 0.0014	3.3 0.0016
第7図 7日後	3.2 0.0051	3.2 0.0013	3.2 0.0012

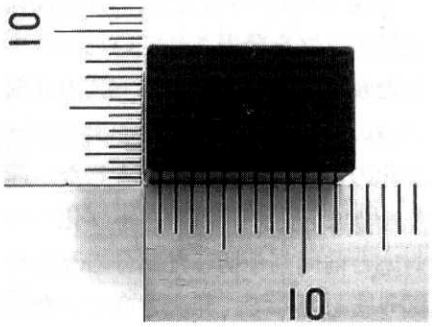
ひずみ率:THD+N

<第1表>周波数対出力電圧，ひずみ率特性

80 Hzのひずみ率悪化に対する改善策はアイデアがあります．具体的な話はできません．試作を繰り替えし良い結果がでれば本誌を通じて紹介したいと思います．

●参考文献●

黒田　徹著「初めてのトランジスタ回路設計」，P. 189「低ひずみ率の正弦波発振器」CQ出版社



●本機で使ったフォト・カプラ